

Investigation of yield and salinity stress tolerance indices in promising bread wheat cultivars and lines under greenhouse conditions

M. Rajaie^{1*}, S. Tahmasabi², M. Dastfal²

1. Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran

2. Seed and Plant Improvement Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran

Received 2 December 2023; Accepted 17 January 2024

Extended abstract

Introduction

Environmental stresses are the most important factors reducing the yield of agricultural crops in the world. Salinity stress affects 20% of the world's arable lands, which increases day by day due to climate change and human activities. Wheat has great genetic diversity for salt tolerance. Improvement and development of salinity tolerant cultivars is a suitable solution to reduce the negative effects of salinity. This research was conducted to investigate and determine the most tolerant varieties and promising lines of wheat to different levels of irrigation water salinity.

Materials and methods

In order to evaluate the response of bread wheat cultivars and lines to different levels of salt water and to determine the salinity tolerance indices, a factorial greenhouse experiment was conducted in a completely randomized design with three replications in the Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Fars province in 1399-1400 years. The light condition of the greenhouse was natural and its temperature was in balance with the outside environment. The experimental factors included wheat genotypes and different degrees of salt water. Wheat genotypes including commercial cultivars and some promising lines including Sistan, Narin, Brat, Sarang, Shush, Ayeneh, Sahar, Mehrgan, Ms-90-15, Ms-92-8, Ms-93-5, Ms-93-6, Ms-93-14, Ms-93-16 and S-94-12 were investigated. The salinity treatments tested with salinities lower and higher than the tolerance limit of wheat in values of 1, 10 and 16 dS m⁻¹. Grain yield (g pot⁻¹) and yield components including 1000 grain weight, number of fertile spikes per pot, number of grains per spike and biological yield (g pot⁻¹) were recorded. Also, using the grain yield data, stress tolerance indices were calculated for medium and severe salt stress. Also, selection index of ideal genotype (SIIG) technique was used in order to investigate genetic diversity and integrate different indices into one selection index. Data variance analysis for different traits was done using SAS statistical software version 9.1. and mean comparison was done using Duncan's multi-range test at 5% probability level.

* Corresponding author: Majid Rajaie; E-Mail: rajaie.majid@yahoo.com



Results and discussion

Medium salt stress caused a decrease of 30, 26, 24, 26 and 20% in grain yield, biological yield, number of spikes per pot, number of grains per spike and 1000 seed weight of genotypes compared to control respectively. These reductions for severe salt stress were 53, 50, 42, 43 and 33% respectively. Mean comparison for the average of all cultivars in salinity levels showed that Sarang, Mehrgan, Brat, Sistan, Narin and S-94-12, without significant differences, had the highest biological yield, respectively. Also, for other yield components, the same genotypes along with Shush had the highest amount without significant difference. For grain yield, Sarang, Mehrgan, S-94-12, Barat, Shush, Narin and Sistan genotypes had the highest values. In the medium saline environment, S-94-12 and MS-92-8 lines had the lowest and highest percentage of grain yield reduction, respectively, compared to the non-saline environment. For severe salinity environment, the same reductions were observed in Mehrgan variety and MS-93-6 line. Based on the obtained results, the use of saline water of 10 ds/m decreased the grain yield of Sistan, Narin, Ms-90-15, Ms-92-8, Ms-93-5, Ms-93-6, and Ms-93-14, Ms-93-16, Brat, Sarang, Shush, Ayeneh, Sahar, Mehrgan and S-94-12 by 32.6, 36.2, 24, 40.5, 29.8, 32.5, 32.3, 26, 27.3, 30.5, 36.6, 21.7, 26.8, 30.2 and 15.6% respectively compared to non-saline irrigation water. These reduction values for 16 dS m⁻¹ were 47.3, 56.3, 47.8, 50.6, 57, 65.4, 56.2, 50.2, 51.2, 50.5, 50.6, 46.6, 50.8, 47.3, 43.4 and 48.8%. Sodium content of leaves increased significantly with increase in salinity stress. The lowest sodium content with the amount of 0.257 and 0.259 percent was observed in Mehrgan and Sarang. Leaf potassium content in Sistan, Mehrgan, Brat, Sarang and S-94-12 showed a significant increase compared to other genotypes. Mehrgan and Sarang cultivars had the lowest ion leakage with the amount of 33.04 and 34.44%, respectively. The highest ion leakage was observed MS-93-6, MS-93-14, MS-93-5 and MS-93-16 lines. In order to increase the selection efficiency of superior genotypes, in addition to stress tolerance indices, the selection index of ideal genotype (SIIG) was used to integrate all stress tolerance indices into a single index. Investigation of the relationships between genotypes using the biplot analysis method and salinity tolerance indices showed that MP, GMP, HM and STI indices had a positive and significant correlation with yield in all levels of salinity.

Conclusion

The results of the biplot analysis and the relatively high correlation between yield under normal and stress conditions showed that cultivars that have high yields under normal conditions will also show high yield under salinity stress conditions. Also, based on stress tolerance indices as well as SIIG selection index, Mehrgan, Sarang and Brat cultivars as well as promising line S-94-12 in greenhouse test conditions (under natural ambient light and temperature conditions), had better yield under saline conditions. The reason for this could be the greater adaptability of these cultivars to the climatic conditions of the introduced region compared to other investigated cultivars, including the cultivars introduced for saline conditions of other regions.

Keywords: Salt stress, Seed yield, Selection index of ideal genotype, Yield components

بررسی عملکرد و شاخص‌های تحمل به تنش شوری در ارقام و لاین‌های امیدبخش گندم نان تحت شرایط گلخانه

مجید رجایی^{۱*}، سیروس طهماسبی^۲، منوچهر دستفال^۲

۱. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز
۲. بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: تنش شوری عملکرد دانه اجزای عملکرد دانه شاخص انتخاب لاین ایده‌آل	اصلاح ارقام متحمل به شوری از راهکارهای مناسب جهت کاهش اثرات شوری است. این پژوهش به منظور تعیین متحمل‌ترین ژنوتیپ‌های گندم به سطوح مختلف شوری انجام گردید. آزمایش فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط نور و دمای طبیعی محیط در گلخانه انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل ژنوتیپ‌های سیستان، نارین، برات، سارنگ، شوش، آینه، سحر، مهرگان، Ms-90-15، Ms-92-8، Ms-93-5، Ms-93-6، Ms-93-14، Ms-93-16 و S-94-12 و آب با شورهای ۱، ۱۰ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر بودند. کمترین محتوای سدیم برگ، نشت یونی و بیشترین پتاسیم برگ در ارقام مهرگان و سارنگ مشاهده شد. در شوری ملایم، S-94-12 و MS-92-8 به ترتیب کمترین و بیشترین درصد کاهش عملکرد دانه را نسبت به محیط بدون شوری داشتند. برای شوری شدید چنین مقادیری در مهرگان و MS-93-6 مشاهده شد. بررسی روابط بین ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش تجزیه بای پلات و شاخص‌های تحمل به شوری نشان داد که شاخص‌های MP، GMP، HM و STI همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد گندم در تمام سطوح دارند. کاربرد آب شور ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش عملکرد دانه ژنوتیپ‌های سیستان، نارین، Ms-90-15، Ms-92-8، Ms-93-5، Ms-93-6، Ms-93-14، Ms-93-16 و برات، سارنگ، شوش، آینه، سحر، مهرگان و S-94-12 به ترتیب به میزان ۳۲/۶، ۳۶/۲، ۲۴، ۴۰/۵، ۲۹/۸، ۳۲/۵، ۳۲/۳، ۲۶، ۲۷/۳، ۳۰/۵، ۳۶/۶، ۲۱/۷، ۲۶/۸، ۳۰/۲ و ۱۵/۶ درصد در مقایسه با شاهد گردید. این مقادیر برای شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۴۷/۳، ۴۶/۳، ۵۰/۶، ۵۷، ۶۵/۴، ۵۶/۲، ۵۰/۲، ۵۱/۲، ۵۰/۵، ۴۶/۶، ۵۰/۸، ۴۷/۳، ۴۳/۴ و ۴۸/۸ درصد بود. بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش و شاخص انتخاب SIIG، ژنوتیپ‌های مهرگان، سارنگ، برات و S-94-12 عملکرد بهتری تحت شرایط شور داشتند. علت این امر می‌تواند سازگاری بیشتر این ارقام به شرایط اقلیمی منطقه در مقایسه با سایر ارقام مورد بررسی باشد.

مقدمه

کشاورزی فشرده، زهکشی ضعیف اراضی و شوری آب آبیاری موجب از دست رفتن ۲۰ درصد از محصولات کشاورزی در سال می‌گردد (Alkharabsheh et al., 2021). در این شرایط برای تولید پایدار و افزایش عملکرد علاوه بر اصلاح خاک‌های شور، افزایش تحمل به شوری در ارقام گیاهی اهمیت بسیار زیادی دارد. گندم از مهم‌ترین محصول زراعی

تنش‌های محیطی مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد محصولات کشاورزی در سطح جهان هستند. تنش شوری ۲۰ درصد از زمین‌های قابل کشت جهانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد که با توجه به روند تغییرات آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی روزبه‌روز بر این مقدار افزوده می‌شود (Arora, 2019). در مقیاس جهانی، شوری خاک به دلیل تغییرات آب و هوایی،

است و در بین تمام غلات رتبه اول جهانی سطح زیر کشت را دارا است. حدود ۳۶ درصد جمعیت جهان به گندم به عنوان غذای اصلی وابسته هستند که حدود ۲۰ درصد کالری و ۵۵ درصد کربوهیدراتها مورد نیاز آنها را تأمین می‌نماید (Giraldo et al., 2019). اهمیت اقتصادی غلات به‌ویژه گندم ایجاب می‌کند، هرگونه راهکاری برای بهینه‌سازی سیستم تولید این محصول مورد ارزیابی و کاربرد قرار گیرد (Ramadas et al., 2020). همچنین تولیدکنندگان با تمرکز بر عوامل مؤثر روی کاهش عملکرد دانه گندم در شرایط تنش‌های محیطی، این گیاه به‌طور مداوم بهبود بخشیده‌اند؛ بنابراین میزان کمیت و کیفیت گندم تولیدی که برای فرآوری محصولات غذایی مختلف ایده‌آل است، با تحقیقات دقیق بهبود یافته است (Igrejas and Branlard, 2020). استفاده از روش‌هایی مانند کاشت ارقام سازگار و متحمل، بررسی واکنش‌های فیزیولوژیک و سایر مواردی که امکان توسعه هر چه بیشتر کشت گیاهان در مناطق شور و نیمه شور را فراهم کند، در این رابطه مؤثر خواهند بود (Miransari and Smith, 2019). بر طبق گزارش‌های محققان، گندم دارای تنوع ژنتیکی فوق‌العاده‌ای برای تحمل به شوری است (Farhangian-Kashani et al., 2021). در طی چند دهه اخیر، چندین ذخایر ژنتیکی گندم توسعه یافته‌اند که دارای سه نوع مکانیسم تحمل، تنظیم اسمزی و حذف یون سدیم هستند. با این حال، معرفی رقم‌های گندم پر محصول سازگار با شرایط شور به دلایل متعددی از جمله وجود شکاف در دانش درک مبانی ژنتیکی تحمل به شوری و به‌کارگیری دانش موجود برای ارائه ارقام پر محصول متحمل به شوری، چندان مؤثر نبوده است (Pour-Aboughadareh et al., 2021).

غربال کردن و جداسازی ژنوتیپ‌های دارای ویژگی‌های خاص، بخش مهمی از برنامه اصلاح برای تحمل به تنش‌ها و از جمله تحمل به تنش شوری است. به علت شرایط ناهمگون و متغیر مزرعه، بسیاری از آزمایش‌های مربوط به غربال کردن ارقام متحمل به شوری، در شرایط کنترل شده انجام می‌گیرد (Houshmand et al., 2005). معیارهای متفاوتی جهت غربال کردن ارقام گندم متحمل به شوری به کار رفته است. به علت اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، عملکرد در شرایط تنش و یا بدون تنش به‌تنهایی ملاک مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش محسوب نمی‌شود. برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش ارزیابی هم‌زمان ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش یکی از مؤثرترین روش‌های

ارزیابی و انتخاب ژنوتیپ‌های ایده‌آل است (Fernandez, 1992). در ارزیابی هم‌زمان ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط، ژنوتیپ‌های انتخابی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها، علاوه بر عملکرد بالا در شرایط بدون تنش، افت عملکرد کمتری در شرایط تنش دارند. برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش چندین معیار پیشنهاد شده است، یکی از آنها انتخاب بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش است. شاخص‌های زیادی توسط محققین (Fischer et al., 1979; Rosielle and Hamblin, 1981; Fernandez, 1992; Gavuzzi et al., 1997; Bouslama and Schapaugh, 1984; Choukan et al., 2006) برای ارزیابی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش معرفی شده‌اند که از جمله می‌توان به شاخص حساسیت به تنش (SSI)، میانگین تولید (MP)، شاخص شدت تنش (SI)، شاخص تحمل به تنش (STI)، میانگین هندسی تولید (GMP)، شاخص تحمل (TOL)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI) و درصد کاهش عملکرد (R) اشاره کرد. برای انتخاب ارقام متحمل یا حساس به تنش به کار بردن یک شاخص به‌تنهایی مطلوب نیست، بلکه بهتر است مقاومت ژنوتیپ‌ها با استفاده از چند شاخص ارزیابی گردد تا احتمال پیدا نمودن ژنوتیپ‌های ایده‌آل افزایش یابد (Zali et al., 2015). با توجه به اینکه قسمت زیادی از نواحی گرم و خشک جنوب استان فارس در معرض تنش شوری قرار دارند و ارقام معرفی شده گندم برای شرایط شور در مناطق معتدل اصلاح و توسعه یافته‌اند، انتخاب ارقام مناسب شرایط شور از میان ارقام موجود جهت توسعه کشت در این مناطق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی اولیه واکنش تحمل به شوری ارقام و لاین‌های در دست معرفی متحمل به شوری به همراه ارقام معرفی شده برای شرایط اقلیم گرم و خشک جنوب و تعیین متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به درجات مختلف شوری برای کاشت در مناطق شور جنوب استان فارس بود.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی پاسخ ارقام و لاین‌های گندم نان به درجات مختلف شوری و تعیین شاخص‌های تحمل به شوری، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس (ایستگاه داراب) و تحت شرایط نور و دمای طبیعی محیط (تغییرات دما در طول انجام پژوهش

بر آن در هر آبیاری ۲۰ درصد نیاز آبخوبی نیز لحاظ گردید. در پایان آزمایش شوری خاک در تیمارهای آب شور اندازه‌گیری شد که برای شوری ۱، ۱۰ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۱/۳۶، ۴/۳ و ۵/۷ دسی زیمنس بر متر بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده است.

مورد مطالعه در تاریخ ۱۵ آذرماه ۱۳۹۹ کشت گردید و پس از استقرار کامل گیاه (مرحله سه برگی) به ۵ بوته در گلدان تنک شد. از زمان کاشت تا مرحله سه برگی و استقرار کامل گیاه آبیاری با آب بدون شوری انجام گرفت. از مرحله سه برگی (۲۵ روز پس از کاشت) آبیاری گلدان‌ها در هر بار آبیاری به روش وزنی، با آب شور مربوط به هر تیمار و در زمان رسیدن به ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی از حد ظرفیت زراعی انجام گرفت. علاوه

جدول ۲. بعضی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 2. Some physical and chemical characteristics of the soil under study

بافت Texture	Cu	Mn	Zn	Fe	P	K	OC	T.N.V	SP	EC	pH
	-----mg.kg ⁻¹ -----						-----%-----		dS.m ⁻¹		-
لوم Loam	0.61	5.8	0.74	5.3	7.8	167	0.62	33	36	2.31	8.1

شاخص میانگین هارمونیک (HM^V) به ترتیب از معادله‌های ۱ تا ۷ هم برای تنش شوری ملایم و همچنین تنش شوری شدید محاسبه شد. شدت تنش (SI):

$$SI = I - \frac{\bar{y}_s}{\bar{y}_p} \quad [1]$$

\bar{y}_s : میانگین عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و \bar{y}_p : میانگین عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال است. دامنه شدت تنش بین صفر و یک است و معیاری جهت ارزیابی میزان تنش وارد شده به یک جامعه گیاهی به واسطه یک عامل نامطلوب محیطی و بر اساس میزان خسارت وارد شده به عملکرد است. مقدار بیشتر SI به معنی شدت بیشتر تنش است.

شاخص حساسیت به تنش (SSI):

$$SSI = \frac{I - \frac{\bar{y}_s}{\bar{y}_p}}{SI} \quad [2]$$

y_s : میانگین عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش و y_p : میانگین عملکرد ژنوتیپ در شرایط نرمال. مقدار کمتر SSI بیان‌گر تحمل بهتر به تنش است. هر چه مقدار y_s به y_p نزدیک‌تر باشد حساسیت رقم به تنش کمتر است و در نتیجه مقدار SSI آن رقم نیز کوچک‌تر است.

شاخص تحمل به تنش (STI):

$$STI = \frac{y_s \times y_p}{\bar{y}_p^2} \quad [3]$$

هنگام ظهور برگ پرچم (۱۵ اسفندماه ۱۳۹۹) از هر تیمار برگ‌های کامل جوان و شاداب اوایل صبح و قبل از طلوع آفتاب نمونه برداری شدند. نمونه‌های برداشت شده کاملاً با آب مقطر شسته شدند و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آن خشک شدند. یک گرم از نمونه خشک شده توزین و در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت خاکستر شد. از خاکستر حاصل عصاره‌گیری و مقادیر سدیم و پتاسیم توسط دستگاه فلیم‌فتمتر قرائت گردید. در نهایت اعداد قرائت شده به وسیله مقایسه با نمودار حاصل از نمونه‌های استاندارد تعدیل شدند (Patterson et al., 1984). همچنین نشت یونی با استفاده از روش سیرام (Sairam et al., 2009) تعیین شد.

در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، بر مبنای رسیدگی زودرس‌ترین ژنوتیپ، آبیاری کلیه ژنوتیپ‌ها قطع گردید. در زمان برداشت (۲۰ خرداد ۱۴۰۰) صفات عملکرد دانه (گرم در گلدان) و اجزای عملکرد شامل وزن هزار دانه، تعداد سنبله بارور در هر گلدان، تعداد دانه در سنبله و عملکرد بیولوژیک (گرم در گلدان) اندازه‌گیری شدند. همچنین با استفاده از داده‌های عملکردی شاخص‌های تحمل به تنش شامل شاخص شدت تنش (SI^۱)، شاخص حساسیت به تنش (SSI^۲)، شاخص تحمل به تنش (STI^۳)، میانگین تولید (MP^۴)، میانگین هندسی تولید (GMP^۵)، شاخص تحمل (TOL^۶) و

4 - Mean productivity

5 - Geometric mean productivity

6 - Tolerance index

7 - Harmonic mean

1- Stress Intensity

2 - Stress Sensitivity Index

3- Stress tolerance index

معادله شماره ۴ میانگین تولید (MP)

$$MP = \frac{ys+yp}{2} \quad [4]$$

معادله شماره ۵ میانگین هندسی تولید (GMP)

$$GMP = \sqrt{ys \times yp} \quad [5]$$

معادله شماره ۶ شاخص تحمل (TOL)

$$TOL = yp - ys \quad [6]$$

معادله شماره (۷): میانگین هارمونیک (HM)

$$HM = \frac{2ys \times yp}{yp+ys} \quad [7]$$

مقدار بیشتر شاخص‌های GMP, MP, STI و HM نشان‌دهنده تحمل بیشتر به تنش است اما مقدار کوچک‌تر شاخص TOL مطلوب‌تر است.

همچنین به منظور بررسی تنوع ژنتیکی و ادغام شاخص‌های مختلف به صورت واحد در یک شاخص انتخاب، از روش SIIG^۱ (برگرفته از روش شاخص انتخاب Topsis) استفاده شد. برای محاسبه این شاخص ابتدا ماتریس داده‌های مربوط به شاخص‌های تحمل به تنش برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی تشکیل شد. پس از نرمال‌سازی داده‌ها در ماتریس جدید، برای هر صفت، فاصله از لاین ایده‌آل (di+) و لاین ضعیف (di-) به ترتیب از معادله ۸ و ۹ محاسبه شد. به عبارتی برای شاخص‌هایی که حد پایین مطلوب است فاصله از لاین ایده‌آل یا di+ از فاصله ژنوتیپ از حد پایین و همچنین فاصله از لاین ضعیف (di-) محاسبه می‌شود. به عنوان مثال در مورد شاخص‌های TOL و SSI لاین ایده‌آل دارای پایین‌ترین مقدار است و فاصله هر ژنوتیپ از آن (d+) محاسبه می‌گردد و فاصله از لاین ضعیف هم که بالاترین مقدار را دارد d- در نظر گرفته می‌شود.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^+)^2} \quad i=1, \dots, n \quad [8]$$

معادله ۹

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^-)^2} \quad i=1, \dots, n \quad [9]$$

در روابط فوق rij مقدار نرمال شده شاخص نام (i = 1, 2, ... n) در رابطه با لاین jام (j = 1, 2, ... m) است. rj+ و rj- به ترتیب مقدار نرمال شده لاین ایده‌آل و لاین ضعیف برای شاخص نام (i = 1, 2, ... n) است (Zali et al., 2015). در نهایت شاخص انتخاب لاین ایده‌آل (SIIG) از معادله شماره ۱۰ محاسبه شد.

معادله شماره ۱۰

$$SIIG = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad i=1, 2, \dots, m, \quad 0 \leq SIIG \leq 1 \quad [10]$$

مقدار SIIG بین صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه گزینه مورد نظر به لاین ایده‌آل نزدیک‌تر باشد مقدار SIIG آن به عدد یک نزدیک‌تر خواهد بود. بر اساس این روش، بهترین لاین، نزدیک‌ترین لاین به لاین‌های ایده‌آل و دورترین از لاین‌های ضعیف است (Zali et al., 2020).

تجزیه واریانس داده‌ها برای صفات مختلف با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ صورت گرفت. همچنین برای بررسی هم‌زمان روابط بین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های تحمل به تنش از تجزیه مؤلفه‌های اصلی و رسم بای‌پلات با استفاده از نرم‌افزار Genstat v.15 انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، بین سطوح مختلف شوری و ژنوتیپ‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌داری برای تمامی صفات در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت، اما برهمکنش اثرات شوری و ژنوتیپ فقط عملکرد دانه و وزن هزار دانه را در سطح احتمال ۵ درصد تحت تأثیر قرار داد (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش تنش شوری محتوای سدیم برگ افزایش معنی‌داری داشت (جدول ۴). کمترین محتوای سدیم برگ با میزان ۰/۲۵۷ و ۰/۲۵۹ درصد مربوط به ارقام مهرگان و سارنگ بود (جدول ۵). ارقام سیستان، نارین و لاین S-94-12 نیز محتوای سدیم کمتری داشتند. بیشترین محتوای سدیم در لاین MS-93-6 با میزان ۰/۳۹۷ درصد مشاهده شد (جدول ۵).

اثر اصلی تنش شوری نشان داد که محتوای پتاسیم برگ با افزایش تنش شوری کاهش معنی‌داری داشت (جدول ۴). اثر اصلی ژنوتیپ‌ها مورد بررسی نشان داد که محتوای پتاسیم برگ در رقم سارنگ بیشترین مقدار (۲/۴۸ درصد) را داشت که البته با ارقام سیستان، مهرگان و لاین S-94-12 تفاوت آماری معنی‌داری نداشت. سایر ارقام و لاین‌های نسبت به ژنوتیپ‌های مذکور محتوای پتاسیم کمتری داشتند (جدول ۵).

با افزایش تنش شوری نشت یونی برگ افزایش معنی داری نشان داد (جدول ۴). در مقایسه ژنوتیپها مشاهده شد که ارقام مهرگان، سارنگ، سیستان و نارین به ترتیب با میزان ۳۳/۰۴، ۳۴/۴۴، ۳۶/۹۰ و ۴۰/۰۳ درصد و بدون تفاوت معنی دار دارای کمترین میزان نشت یونی بودند. بیشترین نشت یونی به ترتیب در لاینهای MS-93-6، MS-93-16، MS-93-14 و MS-93-5 و رقم سحر مشاهده شد که با یکدیگر تفاوت معنی داری نداشتند (جدول ۵).

شوری خاک به دلیل دخالت در دسترسی به عناصر غذایی، ایجاد رقابت برای جذب عناصر غذایی و نقل و انتقال در گیاه، منجر به عدم تعادل تغذیه‌ای می‌شود (Wu et al., 2018). به طوری که یون سدیم موجود در خاک شور با افزایش فشار اسمزی محلول خاک و رقابت در جذب با پتاسیم، کلسیم و منیزیم روی دسترسی و جذب عناصر غذایی توسط ریشه تأثیر می‌گذارد (Ndiate et al., 2021). گزارش شده است که تنظیم بیان ژن‌های دخیل در جذب پتاسیم باعث افزایش انتقال پتاسیم و کاهش انتقال سدیم به قسمت‌های مختلف گیاه مثل برگ شده که با یافته‌های قبلی محققان مطابقت دارد (Shen et al., 2022). از سوی دیگر بالا بودن نشت غشای سلولی در شرایط تنش شوری به دلیل افزایش پراکسیداسیون لیپیدها با تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن صورت می‌گیرد (Ahmad et al., 2019). تنش‌های محیطی از جمله تنش شوری سبب تغییر پیوندهای هیدروژنی و

دی‌سولفیدی در پروتئین‌ها و چربی‌ها شده و ساختار غشای سلولی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در نتیجه ساختار غشای تخریب شده و باعث افزایش نشت یونی می‌شود (Mushtaq et al., 2020).

تنش شوری ملایم به ترتیب سبب کاهش ۳۰، ۲۶، ۲۴، ۲۶ و ۲۰ درصدی عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد سنبله در گلدان، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه ژنوتیپ‌ها در مقایسه با تیمار بدون تنش شوری شد. همچنین در شرایط تنش شوری شدید عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد سنبله در گلدان، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه به ترتیب ۵۳، ۵۰، ۴۲، ۴۳ و ۳۳ درصد در مقایسه با تیمار بدون تنش شوری کاهش داشتند (جدول ۴). در شرایط شوری وزن خشک بافت‌های گیاهی به دلیل افزایش هزینه انرژی متابولیکی و کاهش جذب کربن خالص کاهش می‌یابد که این خود نوعی سازگاری با تنش شوری است (James et al., 2002). یکی از دلایل مهم کاهش عملکرد دانه در شرایط شوری می‌تواند کاهش یا کمبود آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز و حساسیت فتوسیستم II به یون‌های سمی سدیم و کلر باشد که سبب کاهش جذب عناصر غذایی، کاهش رشد، کاهش هدایت روزنه‌ای و در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه، اجزای عملکرد و عملکرد بیولوژیک می‌شود (Netondo et al., 2004).

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های گندم در شرایط مختلف تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد نشت یونی		عملکرد بیولوژیک		تعداد سنبله		تعداد دانه	
		سدیم Na	پتاسیم k	دانه Ion leakage	Grain yield	در گلدان Spike number pot ⁻¹	در سنبله Grain number pot ⁻¹	وزن هزار دانه 1000 Grain weight	
شوری Salinity(S)	2	1.65**	11.6**	18984**	853**	3640**	910**	407**	1343**
ژنوتیپ Genotype(G)	14	0.024**	0.486**	822**	18.5**	65.4**	12.3**	7.66**	29.6**
شوری × ژنوتیپ G × S	28	0.0004 ^{ns}	0.033 ^{ns}	12.1 ^{ns}	2.14*	8.14 ^{ns}	1.80 ^{ns}	0.989 ^{ns}	6.38*
خطا Error	90	0.0009	0.062	50.8	1.25	7.61	1.74	1.84	3.37
ضریب تغییرات (%) C.V (%)		9.4	12.4	14.9	9.1	10.3	7.8	12.7	9.2

^{ns}, * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم معنی داری و اثر معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪ می‌باشند. ns, * and ** indicate non-significance and significant effect at the probability level of 5 and 1%, respectively

جدول ۴. اثر اصلی سطوح مختلف شوری روی صفات سدیم، پتاسیم، نشت یونی، عملکرد بیولوژیک، تعداد سنبله در گلدان و تعداد دانه در سنبله

Table 4. Main effect of salinity levels on sodium, potassium, ion leakage, biological yield, spike number/pot and seed number/spike

سطوح شوری Salinity levels	سدیم Na	پتاسیم K	نشت یونی Ion leakage	عملکرد بیولوژیک Biological yield	سنبله در گلدان Spike number pot ⁻¹	دانه در سنبله Grain number pot ⁻¹
	-----%-----			g pot ⁻¹		
بدون شوری No salinity	0.127 ^c	2.51 ^a	27.30 ^c	35.85 ^a	21.52 ^a	13.80 ^a
شوری ملایم Medium salinity	0.348 ^b	2.00 ^b	47.53 ^b	26.60 ^b	16.45 ^b	10.17 ^b
شوری شدید Severe salinity	0.509 ^a	1.49 ^c	68.37 ^a	17.86 ^c	12.54 ^c	7.83 ^c

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن تفاوت آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ ندارند.

Means with common letters in each column do not have a statistically significant difference at the 1% probability level based on Duncan's test

هم چنین مقایسه میانگین ارقام نشان داد که ارقام سارنگ، مهرگان، برات، سیستان، نارین و S-94-12 بدون اختلاف معنی‌دار به ترتیب دارای بیشترین عملکرد بیولوژیک بودند (جدول ۵).

جدول ۵. اثر اصلی ژنوتیپ بر صفات سدیم، پتاسیم، نشت یونی، عملکرد بیولوژیک، سنبله در گلدان و دانه در سنبله

Table 5. Main effect of genotype on sodium, potassium, ion leakage, biological yield, spike/pot and seed/spike

ژنوتیپ Genotype	سدیم Na	پتاسیم K	نشت یونی Ion leakage	عملکرد بیولوژیک Biological yield	سنبله در گلدان Spike number pot ⁻¹	دانه در سنبله Grain number pot ⁻¹
	-----%-----			g pot ⁻¹		
سیستان/Sistan	0.276 ^{ijk}	2.24 ^{a-d}	36.90 ^{fgh}	29.20 ^{ab}	17.47 ^{abc}	11.07 ^{a-d}
نارین/Narin	0.291 ^{hij}	2.09 ^{b-e}	40.03 ^{e-h}	28.95 ^{ab}	17.47 ^{abc}	11.06 ^{a-d}
مهرگان/Mehrgan	0.257 ^k	2.32 ^{ab}	33.04 ^h	30.62 ^a	18.51 ^a	11.87 ^{ab}
برات/Barat	0.310 ^{fgh}	2.03 ^{c-f}	41.04 ^{d-g}	30.38 ^a	17.68 ^{ab}	11.45 ^{ab}
سارنگ/Sarang	0.259 ^k	2.48 ^a	34.44 ^{gh}	30.66 ^a	18.74 ^a	12.32 ^a
شوش/Shush	0.305 ^{ghi}	1.99 ^{efg}	45.75 ^{cde}	27.28 ^{bcd}	17.78 ^{ab}	11.28 ^{abc}
MS-90-15	0.327 ^{efg}	1.89 ^{efg}	48.26 ^{cd}	25.89 ^{cde}	16.93 ^{bcd}	10.57 ^{b-e}
MS-92-8	0.340 ^{def}	1.85 ^{efg}	50.92 ^{bc}	24.66 ^{de}	15.62 ^{de}	9.95 ^{cde}
MS-93-6	0.397 ^{ab}	1.76 ^{fge}	61.97 ^a	23.73 ^e	14.87 ^e	9.36 ^e
MS-93-14	0.375 ^{bc}	1.78 ^{fg}	56.25 ^{ab}	24.83 ^{de}	16.23 ^{cde}	9.91 ^{cde}
MS-93-5	0.384 ^{abc}	1.95 ^{efg}	55.95 ^{ab}	24.58 ^{de}	16.03 ^{de}	9.69 ^{de}
MS-93-16	0.412 ^a	1.75 ^g	61.07 ^a	23.55 ^e	15.38 ^e	9.81 ^{cde}
سحر/Sahar	0.353 ^{cde}	1.86 ^{efg}	57.17 ^{ab}	23.95 ^e	16.20 ^{cde}	9.80 ^{cde}
آینه/Ayeneh	0.368 ^{bcd}	1.76 ^g	50.97 ^{bc}	24.85 ^{de}	15.98 ^{de}	9.69 ^{de}
S-94-12	0.270 ^{jk}	2.28 ^{abc}	42.24 ^{def}	28.45 ^{abc}	17.64 ^{ab}	11.21 ^{abc}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن تفاوت آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ ندارند.

Means with common letters in each column do not have a statistically significant difference at the 1% probability level based on Duncan's test

کاهش عملکرد دانه را نسبت به محیط بدون شوری داشت. در این محیط لاین MS-92-8 با ۴۰/۵ درصد بالاترین کاهش عملکرد دانه را نسبت به محیط بدون شوری داشت. در محیط شوری شدید رقم مهرگان با ۴۳/۶ درصد و لاین MS-93-6 با ۶۵/۴ درصد به ترتیب کمترین و بیشترین کاهش عملکرد دانه را نسبت به محیط بدون شوری داشتند.

مقایسه میانگین وزن هزار دانه در هر سطح شوری (جدول ۶) نشان داد که برای وزن هزار دانه در محیط بدون شوری رقم شوش با ۳۸/۴۵ گرم و پس از آن سارنگ و نارین دارای بالاترین وزن هزار دانه بودند.

مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در هر سطح شوری (جدول ۶) نشان داد که در تیمار بدون شوری ارقام سارنگ (با ۱۹/۶۶ گرم) و پس از آن مهرگان، برات و نارین دارای بالاترین عملکرد دانه در گلدان بودند. در محیط شوری ملایم لاین S-94-12 با عملکرد ۱۵/۱ گرم و پس از آن ارقام سارنگ، برات و مهرگان (بدون تفاوت معنی‌دار) دارای بالاترین عملکرد دانه بودند. در محیط شوری شدید، رقم مهرگان با ۱۰/۷۶ گرم و پس از آن سارنگ، شوش، S-94-12 و برات بدون اختلاف معنی‌دار دارای بالاترین عملکرد دانه بودند. در محیط شوری ملایم لاین S-94-12 با ۱۵/۶ درصد، کمترین

جدول ۶. مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری و ژنوتیپ بر صفات عملکرد دانه و وزن هزار دانه

Table 6. Mean Comparison of grain yield and thousand seed weight for interaction of salinity and genotype

ژنوتیپ Genotype	بدون شوری No salinity		شوری ملایم Medium salinity		شوری شدید Severe salinity	
	عملکرد دانه Grain yield g pot ⁻¹	وزن هزار دانه Thousand grain weight g	عملکرد دانه Grain yield g pot ⁻¹	وزن هزار دانه Thousand grain weight g	عملکرد دانه Grain yield g pot ⁻¹	وزن هزار دانه Thousand grain weight g
سیستان/Sistan	16.80 ^{cde}	33.57 ^{bcd}	11.33 ^{bcd}	28.39 ^{ab}	8.86 ^{bcd}	23.37 ^{bcd}
نارین/Narin	18.23 ^{abc}	36.16 ^{ab}	11.63 ^{bcd}	29.94 ^a	7.96 ^{bcd}	24.38 ^{abc}
مهرگان/Mehrgan	19.00 ^{ab}	35.26 ^{bc}	13.26 ^{abc}	27.34 ^{abcd}	10.76 ^a	26.83 ^a
برات/Barat	18.70 ^{ab}	34.68 ^{bcd}	13.60 ^{ab}	27.83 ^{abcd}	9.13 ^{abc}	23.14 ^{bcd}
سارنگ/Sarang	19.66 ^a	35.77 ^{ab}	13.66 ^{ab}	30.13 ^a	9.73 ^{ab}	24.66 ^{abc}
شوش/Shush	17.86 ^{bcd}	38.45 ^a	11.33 ^{bcd}	27.15 ^{abcd}	9.53 ^{ab}	22.06 ^{bcd}
MS-90-15	15.43 ^{efg}	31.82 ^{def}	11.73 ^{bcd}	26.00 ^{bcd}	8.06 ^{bcd}	21.02 ^{de}
MS-92-8	16.46 ^{def}	33.59 ^{bcd}	9.80 ^d	24.92 ^{cde}	8.13 ^{ef}	20.38 ^{de}
MS-93-6	14.90 ^{fg}	31.93 ^{def}	10.06 ^d	24.79 ^{cde}	5.16 ^f	19.08 ^e
MS-93-14	16.00 ^{efg}	32.52 ^{cdef}	10.83 ^{cd}	26.05 ^{bcd}	7.00 ^{def}	19.34 ^e
MS-93-5	15.96 ^{efg}	30.81 ^{ef}	11.20 ^{bcd}	24.55 ^{de}	6.86 ^{def}	21.01 ^{de}
MS-93-16	14.33 ^g	31.50 ^{def}	10.60 ^d	24.20 ^e	7.13 ^{cdef}	21.67 ^{cde}
سحر/Sahar	14.66 ^g	30.93 ^{ef}	10.73 ^{cd}	25.43 ^{bcd}	7.73 ^{bcd}	22.40 ^{bcd}
آینه/Ayeneh	14.90 ^{fg}	30.07 ^f	11.66 ^{bcd}	25.30 ^{bcd}	7.33 ^{cde}	21.94 ^{bcd}
S-94-12	17.90 ^{bcd}	31.05 ^{ef}	15.10 ^a	28.03 ^{abc}	9.16 ^{abc}	25.05 ^{ab}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن تفاوت آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ یا ۵٪ ندارند.

Means with common letters in each column do not have a statistically significant difference at the 1% probability level based on Duncan's test

وزن هزار دانه بودند (جدول ۶). یکی از بهترین شاخص‌های تعیین‌کننده تحمل واقعی گیاهان به تنش، اندازه‌گیری عملکرد آن‌ها در شرایط مختلف تنش است (Munns and Tester, 2008; James et al., 2002). نتایج محققان تأیید می‌کند که تفاوت ژنتیکی ارقام و لاین‌های مختلف روشی

در محیط شوری ملایم سارنگ، نارین، سیستان، S-94-12، برات، مهرگان و شوش به ترتیب و بدون اختلاف معنی‌دار دارای بالاترین وزن هزار دانه بودند (جدول ۶). همچنین در محیط شوری شدید رقم مهرگان با ۲۶/۸۳ گرم و پس از آن S-94-12، سارنگ و نارین بدون اختلاف معنی‌دار دارای بالاترین

و خشک، در شرایط شور هم عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهند. در واقع برخی خصوصیات این ژنوتیپ‌ها به دلیل عملکرد بالا و سازگاری با شرایط اقلیمی و آزمایشی (بررسی از لحاظ تحمل به خشکی) که در آن تولید و معرفی شده‌اند سبب عملکرد بالای آن‌ها در شرایط شور شده است (Elfanah et al., 2023).

شاخص‌های تحمل به تنش

شاخص‌های تحمل به تنش برای تنش شوری ملایم در جدول ۷ نشان داده شده است.

مناسب برای ارائه تغییرات کمی و کیفی در شرایط تنش شوری است (Hu et al., 2021). به‌طور کلی نتایج این بررسی نشان داد که ارقام و لاین‌هایی که به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به شوری معرفی شده‌اند، در مقایسه با رقم‌های معرفی شده برای اقلیم گرم و خشک جنوب عملکرد دانه کمتری داشتند. ارقام معرفی شده برای اقلیم گرم و خشک جنوب علاوه بر داشتن پتانسیل بالای عملکرد دارای تحمل بالایی به خشکی و گرما نیز می‌باشند. تحقیقات نشان داده است که گیاهان مختلف و از جمله گندم در بسیاری از موارد مکانیسم‌های مشابهی را برای تحمل به تنش‌های غیر زیستی خشکی و شوری بکار می‌گیرند (Ma et al., 2020). لذا به نظر می‌رسد ارقام پرتانسیل و متحمل به خشکی اقلیم گرم

جدول ۷. شاخص‌های تحمل به تنش شوری در ژنوتیپ‌های مختلف گندم در شرایط تنش شوری ملایم

Table 7. Salt stress tolerance indices in different wheat genotypes under medium salt stress conditions

ژنوتیپ Genotype	شاخص تحمل (TOL)	شاخص میانگین تولید (MP)	شاخص حساسیت به تنش (SSI)	شاخص میانگین هندسی (GMP)	شاخص میانگین هارمونیک (HM)	شاخص تحمل به تنش (STI)	شاخص پایداری عملکرد (YSI)	درصد کاهش عملکرد (R%)	شاخص عملکرد (YI)
Sistan/سیستان	5.46	14.26	1.09	13.79	13.53	0.681	0.675	32.54	0.963
Narin/نارین	6.60	14.93	1.22	14.56	14.20	0.759	0.638	36.20	0.988
Mehrgan/مهرگان	5.73	16.13	1.01	15.78	15.62	0.901	0.698	30.18	1.127
Barat/برات	5.10	16.15	0.921	15.94	15.74	0.909	0.727	27.27	1.155
Sarang/سارنگ	6.00	16.66	1.03	16.39	16.12	0.961	0.695	30.51	1.161
Shush/شوش	6.53	14.60	1.23	14.23	13.86	0.724	0.634	36.57	0.963
MS-90-15	3.70	13.58	0.809	13.45	13.33	0.648	0.760	23.97	0.997
MS-92-8	6.66	13.13	1.36	12.70	12.28	0.577	0.595	40.49	0.833
MS-93-6	4.83	12.48	1.09	12.24	12.01	0.536	0.676	32.44	0.855
MS-93-14	5.16	13.41	1.09	13.16	12.91	0.620	0.677	32.29	0.920
MS-93-5	4.76	13.58	1.00	13.37	13.16	0.640	0.701	29.85	0.951
MS-93-16	3.73	12.46	0.879	12.32	12.18	0.543	0.740	26.05	0.901
Sahar/سحر	3.93	12.70	0.906	12.54	13.39	0.563	0.732	26.82	0.912
Ayeneh/آینه	3.23	13.28	0.733	13.18	13.08	0.622	0.783	21.70	0.991
S-94-12	2.80	16.50	0.528	16.44	16.38	0.967	0.844	15.64	1.283

(TOL): Tolerance index; (MP): Mean productivity; (SSI): Stress sensitivity index; (GMP): Geometric mean productivity; (HM): Harmonic mean; (STI): Stress tolerance index; (YSI): Yield stability index; (YI): Yield index

مهرگان است. همچنین این ژنوتیپ‌ها عملکرد بالایی را در هر دو شرایط نرمال و تنش شوری داشتند (جدول ۶). بر اساس این شاخص‌ها، ژنوتیپی که بیشترین مقدار را داشته باشد مطلوب است و جزء ژنوتیپ‌های متحمل به تنش محسوب می‌شود. از نظر فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص STI

با توجه به نتایج تقریباً مشابه برای شاخص‌های تحمل به تنش در دو محیط تنش شوری ملایم و شدید، فقط نتایج محیط شوری ملایم ارائه گردید. در شرایط تنش شوری ملایم، بر مبنای شاخص‌های STI، GMP، MP و HM بیشترین مقدار مربوط به ژنوتیپ‌های S-94-12، سارنگ، برات و

برای بررسی هم‌زمان روابط بین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های تحمل به خشکی در محیط تنش ملایم از آنالیز بای‌پلات استفاده شد. در شکل بای‌پلات زاویه منفرجه بین بردارها بیانگر همبستگی منفی شاخص‌ها، زاویه قائمه نشانه مستقل بودن آن‌ها و زاویه حاده بیانگر همبستگی مثبت شاخص‌ها است (Yan and Kang, 2002). مؤلفه‌های اول و دوم در شرایط تنش شوری ملایم بیش از ۹۹ درصد تغییرات را توجیه نمودند. با توجه به زوایای بین شاخص‌ها (شکل ۱)، می‌توان استنباط کرد که شاخص‌های MP, GMP, HM و STI همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد گندم در محیط تنش شوری و همچنین شرایط بدون تنش دارند.

شاخص‌های YSI, SSI و TOL کمترین ارتباط را با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش‌های شوری داشتند. امیری و همکاران (Amiri et al., 2014)، در بررسی ارتباط بین این شاخص‌ها با عملکرد گندم در شرایط تنش شوری با استفاده از تجزیه بای‌پلات نتایج مشابهی را گزارش نموده است. همچنین این نتیجه با گزارش‌های فرشادفر و همکاران (Farshadfar et al., 2018) در ارزیابی ارتباط شاخص‌های مختلف در ژنوتیپ‌های گندم تحت شرایط خشکی نیز مطابقت دارد. بر اساس تجزیه بای‌پلات در شرایط تنش ملایم ژنوتیپ‌های برات، سارنگ، مهرگان و S-94-12 برای هر دو شرایط نرمال و تنش شوری مناسب هستند.

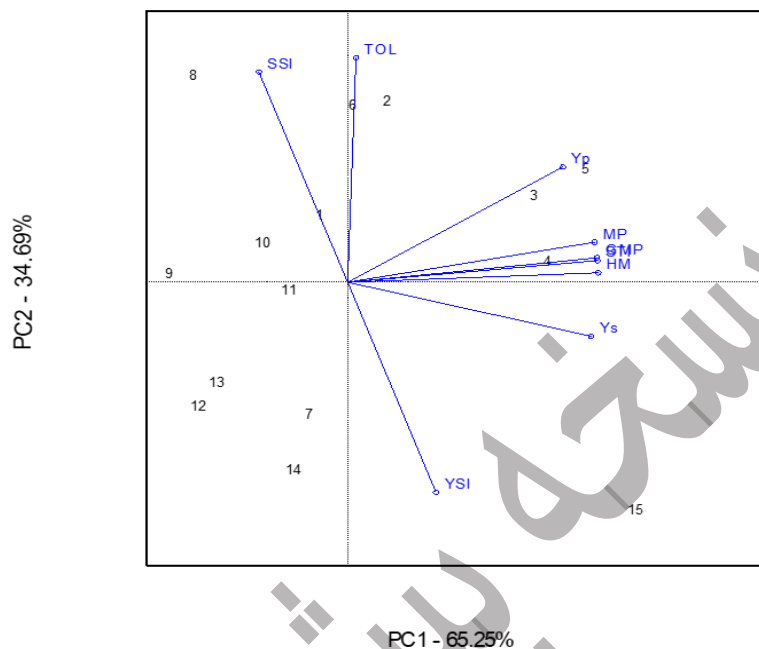
به‌منظور افزایش کارایی انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش به‌طور هم‌زمان، از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) استفاده شد (جدول ۸). میزان تغییرات این شاخص بین صفر و یک است هر چه مقدار SIIG ژنوتیپ به یک نزدیک‌تر باشد آن ژنوتیپ از تحمل به تنش بالاتری برخوردار است و هر چه این مقدار به صفر نزدیک‌تر باشد ژنوتیپ موردبررسی به تنش حساس‌تر است. بر اساس شاخص SIIG در محیط تنش شوری ملایم در مجموع تعداد ۶ ژنوتیپ S-94-12، برات، آینه، MS-90-15، سارنگ و مهرگان به ترتیب دارای مقادیر SIIG بالاتر از ۰/۵۰ بودند که نشان‌دهنده تحمل بیشتر آن‌ها به تنش شوری نسبت به سایر ژنوتیپ‌های موردبررسی است. میانگین ژنوتیپ‌های موردبررسی در شرایط شوری ملایم و بدون تنش نشان داد که به‌جز رقم آینه تمامی این ژنوتیپ‌ها دارای میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل (۱۴/۲۵ گرم در گلدان) بودند (جدول ۸). همچنین برای انتخاب بهترین لاین-ها از نمودار سه‌بعدی (شکل ۲) بر مبنای عملکرد در شرایط

قادر به گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به تنش است و شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP) کم‌تر تحت تأثیر ارزش نهایی صفات است و می‌تواند ژنوتیپ‌های گروه A (دارای عملکرد بالا هم در محیط بدون تنش و هم محیط تنش) را از بقیه جدا کند (Yousofi and Rezai, 2008). شاخص تحمل به تنش (STI) قادر است ژنوتیپ‌هایی را که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند (گروه A) را از دو گروه ژنوتیپی که فقط در شرایط بدون تنش (گروه B) و یا فقط در شرایط تنش (گروه C) عملکرد نسبتاً بالایی دارند را تفکیک نماید. همچنین فرناندز (Fernandez, 1992)، شاخص‌های STI و GMP را به علت همبستگی با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش، به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌های گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش و دارای عملکرد مناسب، توصیه نموده است. محققان شاخص‌های MP, GMP و STI را مهم‌ترین شاخص‌ها در گزینش ارقام گندم متحمل به تنش شوری معرفی کردند. کاربرد شاخص-های MP, GMP, STI و HM در انتخاب ارقام متحمل به تنش خشکی در گندم نان در تحقیقات دیگر نیز گزارش شده است (Talebi et al., 2009; Mohammadi et al., 2011; Askar et al., 2011; Shahmoradi et al., 2016).

ژنوتیپ‌های M-94-12، آینه، MS-90-15 و MS-93-16 کمترین مقدار شاخص TOL و SSI و همچنین بالاترین مقدار YSI را در شرایط اعمال تنش شوری داشتند. مقدار پایین شاخص TOL و SSI تحمل بالاتر ژنوتیپ‌ها را به تنش نشان می‌دهد درحالی‌که بر اساس شاخص YSI، ژنوتیپی که بیش‌ترین مقدار را داشته باشد مطلوب است و جزء ژنوتیپ‌های متحمل به تنش محسوب می‌شود. بر مبنای شاخص‌های SSI و TOL ممکن است ژنوتیپ‌هایی انتخاب شوند که دارای عملکرد پائینی در شرایط بدون تنش و شرایط تنش باشند (Fernandez, 1992)؛ بنابراین ممکن است این شاخص‌ها در تمایز ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا کارایی کم‌تری داشته باشند. در ضمن با توجه به مقدار پایین این شاخص‌ها، ژنوتیپ‌ها باید دارای عملکرد مناسب در شرایط تنش و بدون-تنش باشند. شاخص SSI برای اصلاح تحت تنش‌هایی با شدت کم مناسب است، در صورتی‌که شاخص‌های MP, GMP و STI برای تنش‌هایی با شدت بالا پیشنهاد شده است (Sio-Se Mardeh et al., 2006)

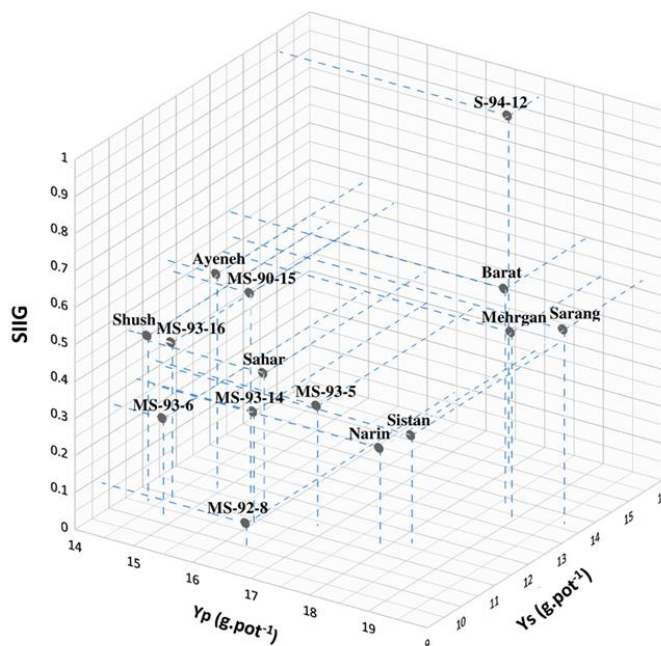
بر عملکرد بالا در هر دو محیط بدون تنش و تنش شوری دارای بیشترین مقدار شاخص SIIG بودند که نشان‌دهنده تحمل بالایی آن‌ها به تنش شوری است.

بدون تنش (Y_p)، عملکرد در شرایط تنش (Y_s) و شاخص SIIG استفاده شد. همان‌طور که در این نمودار ملاحظه می‌شود ژنوتیپ‌های S-94-12، برات، سارنگ و مهرگان علاوه



شکل ۱. نمودار بای‌پلات شاخص‌های تحمل به تنش در ژنوتیپ‌های گندم بر اساس مؤلفه‌های اول و دوم در شرایط شوری ملایم. شماره‌های ۱ الی ۱۵ کد ارقام و لاین‌های مورد بررسی مطابق جدول ۱ می‌باشند.

Fig. 1. Biplot diagram of stress tolerance indices in wheat genotypes based on the first and second components in medium salinity conditions. Numbers 1 to 15 are the codes of cultivars and lines examined according to table 1.



شکل ۲. نمودار سه‌بعدی شاخص SIIG و عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش و تنش شوری ملایم

Fig. 2. 3D diagram of SIIG index and performance of genotypes in non-stressed environment and medium salinity stress

جدول ۸. شاخص انتخاب لاین ایده آل (SIIG) و رتبه ژنوتیپ‌های گندم نان مورد بررسی بر مبنای عملکرد دانه و شاخص SIIG
 Table 8. The selection index of ideal genotype (SIIG) and the ranking of the examined bread wheat genotypes based on grain yield and SIIG index

شوری ملایم / Medium salinity				
رقم / لاین Cultivar/Line	شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده آل SIIG	رتبه بر اساس شاخص SIIG Ranking based on SIIG index	میانگین عملکرد دانه Average seed yield g pot ⁻¹	رتبه بر اساس عملکرد دانه Ranking based on seed yield
سیستان / Sistan	0.325	10	14.07	7
نارین / Narin	0.292	12	14.93	5
مهرگان / Mehrgan	0.512	6	16.13	4
برات / Barat	0.597	2	16.15	3
سارنگ / Sarang	0.526	5	16.67	1
شوش / Shush	0.258	14	14.60	6
MS-90-15	0.547	4	13.58	9
MS-92-8	0.080	15	13.13	12
MS-93-6	0.280	13	12.48	14
MS-93-14	0.303	11	13.42	10
MS-93-5	0.384	9	13.58	8
MS-93-16	0.447	7	12.47	15
سحر / Sahar	0.436	8	12.70	13
آینه / Ayeneh	0.578	3	13.28	11
S-94-12	0.944	1	16.50	2

این کاهش در شرایط شوری شدید بیشتر بود. لاین‌های S-94-12 و MS-92-8 به ترتیب کمترین و بیشترین میزان کاهش عملکرد دانه را تحت شرایط آب آبیاری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط نرمال داشتند. در شرایط آب آبیاری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر نیز رقم مهرگان و لاین MS-93-6 به ترتیب کمترین و بیشترین درصد کاهش عملکرد را نسبت به شرایط بدون تنش شوری داشتند. همچنین تحت شرایط آزمایش، ارقام و لاین‌های معرفی شده برای اقلیم گرم و خشک جنوب کشور در مقایسه با ژنوتیپ‌هایی که برای شرایط شوری معرفی بودند، عملکرد دانه بالاتری داشتند؛ به عبارت دیگر ژنوتیپ‌های معرفی شده برای اقلیم گرم و خشک جنوب به دلیل سازگاری بیشتر به شرایط اقلیمی منطقه، عملکرد دانه و تحمل به شوری بالایی را در شرایط شور نیز از خود نشان دادند. همان‌طور که در نمودارهای بای‌پلات شاخص‌های تحمل به تنش نشان داده شده است (شکل ۱) بردار عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال و تنش شوری با هم زاویه حاده تشکیل داده‌اند که نشان‌دهنده همبستگی نسبتاً بالا بین آن‌ها است؛ بنابراین ارقامی که در شرایط نرمال عملکرد بالایی دارند در شرایط تنش نیز عملکرد

شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده آل در چندین بررسی در محصولات مختلف از جمله گندم و جو برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش‌های غیر زیستی استفاده شده است (Zali et al., 2015; Zali et al., 2016). در یک بررسی، طهماسبی و همکاران (Tahmasebi et al., 2018) با استفاده از این روش ژنوتیپ‌های گندم متحمل به تنش خشکی را انتخاب و بیان نمودند که این روش انتخاب کارایی بالایی برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش دارد. این روش شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی را ادغام نموده و تبدیل به یک شاخص واحد می‌نماید، بنابراین کارایی تصمیم‌گیری برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل را افزایش می‌دهد (Zali et al., 2015, 2016). استفاده از شاخص SIIG در این بررسی نشان داد که ژنوتیپ‌های مهرگان، S-94-12، سارنگ و برات با بالاترین مقدار این شاخص بیشترین تحمل به شوری را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارا هستند.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج نشان داد که تنش شوری ملایم و شدید سبب کاهش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و اجزای عملکرد گردید که

بیشترین مقدار شاخص SIIG بودند که نشان‌دهنده تحمل بالایی آن‌ها به تنش شوری است. به‌طور کلی بر مبنای نتایج این بررسی ارقام مهرگان، سارنگ و برات و همچنین لاین امیدبخش S-94-12 را می‌توان به‌عنوان مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها برای کاشت در شرایط شور اقلیم گرم و خشک جنوب توصیه نمود. اگرچه ارزیابی مزرعه‌ای این ارقام در شرایط شور اقلیم گرم و خشک جنوب جهت تکمیل و تأیید نتایج این پژوهش ضروری است.

آن‌ها قابل‌توجه بوده است. بررسی روابط بین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های تحمل به خشکی نشان داد که شاخص‌های MP، GMP، STI و همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه گندم در شرایط تنش شوری و عملکرد شرایط بدون تنش دارند. بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش و همچنین استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش به‌طور هم‌زمان از طریق شاخص انتخاب SIIG در محیط تنش شوری ملایم ژنوتیپ‌های S-94-12، برات، سارنگ و مهرگان علاوه بر عملکرد بالا در هر دو محیط بدون تنش و تنش شوری دارای

منابع

- Ahmad, R., Hussain, S., Anjum, M.A., Khalid, M.F., Saqib, M., Zakir, I., Hassan, A., Fahad, S., Ahmad, S., 2019. Oxidative stress and antioxidant defense mechanisms in plants under salt stress. *Plant Abiotic Stress Tolerance: Agronomic, Molecular and Biotechnological Approaches*, 191-205. https://doi.org/10.1007/978-3-030-06118-0_8
- Alkharabsheh, H. M., Seleiman, M. F., Hewedy, O.A., Battaglia, M. L., Jalal, R. S., Alhammad, B. A., Schillaci, C., Ali, N., Al-Doss, A., 2021. Field crop responses and management strategies to mitigate soil salinity in modern agriculture: A review. *Agronomy*. 11, 2299. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112299>
- Amiri, R., Bahraminejad, S., Sasani, S. Ghobadi, M., 2014. Genetic evaluation of 80 irrigated bread wheat genotypes for drought tolerance indices. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 20, 101-111. <http://agrojournal.org/20/01-17.pdf>
- Arora, N. K., 2019. Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. *Environmental Sustainability*. 2, 95-96. <https://doi.org/10.1007/s42398-019-00078-w>
- Askar, M., Yazdansepa, A., Amini. A., 2011. Evaluation of winter and facultative bread wheat genotypes under irrigated and post-anthesis drought stress conditions. *Seed and Plant Improvement Journal* 26, 313-329. [In Persian]. <https://sid.ir/paper/146990/en>
- Bouslama, M., Schapaugh, W. T., 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*. 24, 933-937.
- <https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x>
- Choukan, R., Taherkhani, T., Ghannadha, M. R., Khodarahmi, M., 2006. Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. *Iranian Journal of Crop Science*. 8, 79-89. [In Persian]. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1385.8.1.7.6>
- Elfanah, A.M., Darwish, M.A., Selim, A.I., Shabana, M.M., Elmoselhy, O.M., Khedr, R.A., Ali, A.M., Abdelhamid, M.T., 2023. Spectral reflectance indices' performance to identify seawater salinity tolerance in bread wheat genotypes using genotype by yield* trait biplot approach. *Agronomy*. 13, 353. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020353>
- Farhangian-Kashani, S., Azadi, A., Khaghani, S., Changizi, M., Gomarian, M., 2021. Association analysis and evaluation of genetic diversity in wheat genotypes using SSR markers. *Biologia Futura*. 72, 441-452. <https://doi.org/10.1007/s42977-021-00088-y>
- Farshadfar, E., Poursiahbidi, M. M. Safavi, S. M., 2018. Assessment of drought tolerance in landraces of bread wheat based on resistance/tolerance indices. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*. 1, 143-158. https://www.ijabbr.com/article_33588_6a397d1346494ba7c0c3f78d97cdf663.pdf
- Fernandez, G., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C. G. (ed.). *Proceeding of the international symposium on adaptation of vegetable and other food crops to temperature and water*

- stress. Taiwan, 13-18 August. pp: 257-270. <https://doi.org/10.22001/wvc.72511>
- Fischer, R. A., Wood, T., 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars III. Yield association with morphological traits. *Australian Journal of Agricultural Research*. 30, 1001-1020. <https://doi.org/10.1071/AR9791001>
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R. G., Ricciardi, G. L., Borghi, B., 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat stress in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*. 77, 523-531. <https://doi.org/10.4141/P96-130>
- Giraldo, P., Benavente, E., Manzano-Agugliaro, F., Gimenez, E., 2019. Worldwide research trends on wheat and barley: a bibliometric comparative analysis. *Agronomy*. 9, 352. <https://doi.org/10.3390/agronomy9070352>
- Houshmand, S., A. Arzani, S.A. Maibody., M. Feizi., 2005. Evaluation of salt-tolerant genotypes of durum wheat derived from in vitro and field experiments. *Field Crops Research*. 91, 345-354. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.08.004>
- Hu, P., Zheng, Q., Luo, Q., Teng, W., Li, H., Li, B., Li, Z., 2021. Genome-wide association study of yield and related traits in common wheat under salt-stress conditions. *BMC Plant Biology*. 21, 1-20. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02799-1>
- Igrejas, G., Branlard, G., 2020. The importance of wheat. *Wheat Quality For Improving Processing And Human Health*. Springer, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-34163-3>
- James, R. A., Rivelli, A. R., Munns, R., von Caemmerer, S., 2002. Factors affecting CO₂ assimilation, leaf injury and growth in salt-stressed durum wheat. *Functional Plant Biology*, 29, 1393-1403. <https://doi.org/10.1071/FP02069>
- Ma, Y., Dias, M.C., Freitas, H. 2020. Drought and salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. *Frontiers in Plant Science*. 11, 591911. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.591911>
- Miransari, M., Smith, D., 2019. Sustainable wheat (*Triticum aestivum* L.) production in saline fields: a review. *Critical Reviews in Biotechnology*. 39, 999-1014. <https://doi.org/10.1080/07388551.2019.1654973>
- Mohammadi, M., Karimizadeh, R., Abdipour, M., 2011. Evaluation of drought tolerance in bread wheat genotypes under dryland and supplemental irrigation conditions. *Australian Journal of Crop Science*. 5, 487-493. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.281651288962837>
- Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59, 651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Mushtaq, Z., Faizan, S., Gulzar, B., 2020. Salt stress, its impacts on plants and the strategies plants are employing against it: A review. *Journal of Applied Biology and Biotechnology* 8, 81-91. <https://doi.org/10.7324/JABB.2020.80315>
- Ndiate, N.I., Saeed, Q., Haider, F.U., Liqun, C., Nkoh, J.N., Mustafa, A., 2021. Co-application of biochar and arbuscular mycorrhizal fungi improves salinity tolerance, growth and lipid metabolism of maize (*Zea mays* L.) in an alkaline soil. *Plants*. 10, 2490. <https://doi.org/10.3390/plants10112490>
- Netondo, G. W., Onyango, J. C., Beck, E., 2004. Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. *Crop Science*. 44, 806. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.8060>
- Patterson, B., Macrae, E., Ferguson, I., 1984. Estimation of hydrogen peroxide in plant extracts using titanium (IV). *Annual Biochemical*. 139, 487-492. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(84\)90039-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(84)90039-3)
- Pour-Aboughadareh, A., Mehrvar, M.R., Sanjani, S., Amini, A., Nikkhah-Chamanabad, H., Asadi, A., 2021. Effects of salinity stress on seedling biomass, physiochemical properties, and grain yield in different breeding wheat genotypes. *Acta Physiologiae Plantarum* 43, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s11738-021-03265-7>
- Ramadas, S., Kumar, T., Singh, G.P., 2020. Wheat production in India: Trends and prospects. *Recent Advances in Grain Crops Research*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.86341>
- Rosielle, A., J. Hamblin., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*. 21, 943-946. <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x>

- Sairam, R.K., Dharmar, K., Chinnusamy, V., Meena, R.C., 2009. Water logging-induced increase in sugar mobilization, fermentation, and related gene expression in the roots of mung bean (*Vigna radiata*). *Journal of Plant Physiology*. 6, 602-616. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.09.005>
- Shahmoradi, SH., and Zahravi, M., 2016. Evaluation of drought tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) germplasm from warm and dry climates of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal*. 32, 181-200 [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/spij.2017.111296>
- Shen, Z., Pu, X., Wang, S., Dong, X., Cheng, X., Cheng, M., 2022. Silicon improves ion homeostasis and growth of liquorice under salt stress by reducing plant Na⁺ uptake. *Scientific Reports*. 12, 5089. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09061-8>
- Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., Mohammadi, V., 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditioning. *Field Crop Research*. 98, 222-229. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.02.001>
- Tahmasebi, S., M. Dastfal, H. Zali., M. Rajaei. 2018. Drought tolerance evaluation of bread wheat cultivars and promising lines in warm and dry climate of the south. *Cereal Research*. 8, 209-225. <https://doi.org/10.22124/c.2018.10434.1398>
- Talebi, R., Fayaz, F., Naji, A. M., 2009. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat. *General and Applied Plant Physiology*. 35, 64-74. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20133138198>
- Wu, H., Zhang, X., Giraldo, J. P., Shabala, S., 2018. It is not all about sodium: revealing tissue specificity and signalling roles of potassium in plant responses to salt stress. *Plant and Soil*. 431, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3770-y>
- Yan, W., Kang, M.S., 2002. *GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420040371>
- Yousofi, M., Rezaei, A. M., 2008. Assessment of drought tolerance in different breeding lines of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 42, 113-122. [In Persian]. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22518517.1386.1.42.10.9>
- Zali, H., Barati, A., 2020. Evaluation of selection index of ideal genotype (SIIG) in other to selection of barley promising lines with high yield and desirable agronomy traits. *Journal of Crop Breeding*. 12, 93-104. <http://dx.doi.org/10.29252/jcb.12.34.93>
- Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asghari, A., Hoseini, S. M., 2015. Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. *Biological Forum – An International Journal*. 7, 703-711. <https://www.researchtrend.net/bfij/pdf/117%20HASSAN%20ZALI.pdf>
- Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asghari, A., Zeinalabedini, M., 2016. Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in canola. *Journal of Crop Breeding*. 78, 77-90. [In Persian] <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22286128.1395.8.20.7.4>